Contribution de l'ORSTOM à la connaissance des précipitations en Afrique de l'Ouest et Centrale

Commentaires et bibliographie

Jacques SIRCOULON (1)

RÉSUMÉ

Les études sur la pluie, entreprises par l'ORSTOM en Afrique de l'Ouest et Centrale, apportent une importante contribution à la quantification de cette ressource, à l'évaluation de ses caractéristiques et à l'estimation de sa répartition spatio-temporelle.

La présente note dresse ainsi pour cette zone un bilan des acquis et des lacunes dans cette connaissance et répertorie les principales publications faites par les hydrologues de cet Institut.

MOTS-CLÉS : Pluie-Bibliographie-ORSTOM-Afrique de l'Ouest-Afrique Centrale.

ABSTRACT

ORSTOM'S CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF RAINFALL IN WEST AND CENTRAL AFRICA – COMMENTS AND BIBLIOGRAPHY.

The studies related to rainfall undertaken by ORSTOM in West and Central Africa provide a major contribution to the assessment of this resource, in terms of amount, characteristics and space-time distribution.

This paper draws up a balance between acquired and missing knowledge in this field and lists the principal studies published by hydrologists of this Institute.

KEY WORDS : Rainfall-Bibliography-West Africa-Central Africa-ORSTOM.

1. INTRODUCTION

L'examen des études pluviométriques réalisées par les hydrologues de l'ORSTOM au cours de ces vingt dernières années s'appuie sur une bibliographie constituée d'environ 80 références.

Le rassemblement des documents les plus marquants (Afrique inter-tropicale plus quelques références extérieures retenues pour leur intérêt) fournit un éclairage instructif sur les types de travaux menés sur les pluies par cet Institut. Ceux-ci sont représentatifs, dans ce domaine, des préoccupations majeures (et parfois des contraintes) des hydrologues au cours des années écoulées.

Trois grandes lignes de force se dégagent :

- L'inventaire des données disponibles et leur mise en forme (pour l'évaluation de la ressource pluie),
- la caractérisation des régimes pluviométriques, du climat et de son évolution,
- la répartition spatio-temporelle des pluies (pour son action sur l'écoulement et la formation des crues notamment).

(1)Ingénieur de recherches ORSTOM. Département « Milieu physique et environnement climatique », 213, rue La Fayette, 75480 Paris Cedex 10.

La réalisation de toute étude sur les précipitations nécessitera en premier lieu une démarche obligée : recherche de l'information disponible, rassemblement et critique des données, élaboration de fichiers servant de référence et de matière première. Cette démarche représente une part notable des activités des hydrologues (une force, diront certains, car cet Institut de Recherche s'est imposé comme interlocuteur privilégié à l'utilisateur extérieur, une lourde contrainte, diront d'autres ou parfois les mêmes, car les énergies ainsi mobilisées ne permettent pas de procéder en même temps à une exploitation suffisante des données pluies accumulées).

La caractérisation des régimes pluviométriques et la détermination des principales conditions climatiques ont été entreprises de façon quasi systématique dans les rapports d'études sur bassins versants et les études régionales (Monographies) car représentant un important facteur conditionnel de l'écoulement. Toutefois ces travaux font rarement l'objet d'une publication spécifique, le volet pluviométrique ne représentant qu'une des parties de l'étude ; c'est pour cette raison que la bibliographie ci-après fournit quelques rapports où le développement apporté au chapitre des pluies est particulièrement intéressant quant aux méthodes utilisées et aux résultats obtenus.

Les travaux portant sur la répartition spatio-temporelle des pluies et sur la constitution d'un outil statistique approprié constituent la partie la plus importante sur le plan scientifique. Les hydrologues de l'ORSTOM ont toujours privilégié l'aspect quantitatif des précipitations, en n'abordant que de façon exceptionnelle jusqu'à présent l'aspect qualitatif. Ils ont également toujours laissé aux météorologues les aspects de physique et d'hydrodynamique de la pluie.

Les commentaires qui suivent s'appuient sur le plan établi pour la présentation de la bibliographie.

2. COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

2.1. Les ouvrages de synthèses

Les publications relatives à ce point correspondent essentiellement à des travaux menés sur convention (en général à la demande du Comité Interafricain d'Études Hydrauliques – CIEH –) ; elles concernent en premier lieu les fichiers pluviométriques commentés et critiqués des États d'Afrique Noire francophone. Il s'agit là d'une action bien connue de l'Institut et qui se poursuivra dans les années à venir avec la « mise au point » de fichiers complétés jusqu'à l'année 1984 incluse grâce à une convention tripartite avec le CIEH à Ouagadougou et l'ASECNA à Dakar (Agence pour la sécurité de la Navigation Aérienne). D'autres travaux se rapportent à des études méthodologiques sur le traitement des données climatologiques (codification, procédures de contrôle, programmes...). Enfin il faut citer l'important travail de M. Brunet-Moret portant sur les averses exceptionnelles de 8 pays de l'Afrique de l'Ouest ; les résultats obtenus sur la valeur des précipitations décennales et les relations intensité-durée-fréquence ont longtemps été utilisés par tous les bureaux d'étude (ce travail déjà ancien a été repris en partie ces dernières années par le CIEH).

Comme signalé précédemment, l'utilisateur pourra trouver des résultats détaillés sur les pluies à divers pas de temps en consultant en particulier les Monographies de l'ORSTOM qui sont établies à l'échelle d'un grand bassin fluvial ou d'un pays.

2.2. Établissement des fichiers pluviométriques

Le contrôle, la critique et la correction des données pluviométriques ou pluviographiques ont fait l'objet de nombreuses publications mettant en relief les étapes à respecter : saisie de données en respectant fidèlement les archives, critique des fichiers obtenus, importance des problèmes liés à l'origine, la nature et la précision de la donnée, prise en compte des variations d'environnement ou d'inadéquation de l'appareillage. L'homogénéisation des données (Brunet-Moret, Hiez) a connu une réflexion particulièrement poussée. Le « Vecteur Hiez » s'avère un outil très performant pour la détection des erreurs à l'échelle mensuelle ou annuelle mais aussi un outil très prometteur pour la mise en évidence de la variabilité du climat à méso-échelle.

Le traitement des données pluviométriques grâce aux moyens informatiques a connu une évolution importante depuis ses débuts en 1967, que ce soit dans la conception des fichiers (Roche, Brunet-Moret, l'Hôte), le mode de dépouillement semi-automatique des enregistrements (Dubreuil, Girard, Chaperon, Guiscafre), les possibilités d'exploitation ou la gestion des données. Une chaîne entièrement automatisée fonctionnant en véritable banque de données (PLUVIOM) est en cours de conception.

Le canevas établi par les chercheurs cités précédemment et l'expérience acquise, dans ce domaine, ont servi de modèle pour les organismes français œuvrant sur ce thème (Ministère de l'Agriculture, Bureau de l'Eau de la Météorologie Nationale).

2.3. Caractéristiques spatio-temporelles des pluies

2.3.1. Répartition temporelle des pluies

2.3.1.1. Statistiques appliquées aux pluies

Les hydrologues ont été très tôt amenés à adapter l'outil statistique aux pluies (en particulier aux échantillons de pluies journalières et aux totaux annuels) étant confrontés par exemple aux problèmes de faiblesse des échantillons ou aux valeurs nulles. Dès le début des années 60, Roche apportait une contribution fondamentale à ce problème ; Brunet-Moret a pendant de nombreuses années fait progresser l'utilisation des lois statistiques en fournissant, dans l'ère pré-informatique des tables et abaques pratiques aux usagers puis avec l'aide de l'informatique des programmes pour l'emploi des diverses lois usuelles et des tests d'adéquation. Bouvier et Ribstein ont apporté ces dernières années des compléments utiles.

Néanmoins le phénomène prolongé de persistance dans les déficits pluviométriques observé actuellement dans les zones sahéliennes conduit à une révision sérieuse des certitudes acquises et nécessite une nouvelle approche faisant appel à des compétences supplémentaires.

2.3.1.2. Structure des précipitations

L'étude de la structure des précipitations peut se faire à une échelle de temps fine de l'averse, à un pas de temps horaire ou à l'échelle d'un épisode pluvieux sur plusieurs jours.

En fait, cette structure a été étudiée en priorité pour l'action des averses sur le ruissellement, la forme et l'importance des crues dans le cas de petits bassins. Les relations pluies-débits à l'échelle de l'averse ont été améliorées en ne prenant en compte qu'une partie de l'averse (notion de corps d'averse). L'hydrologie analytique a amené à une étude fine du hyétogramme de l'averse et de ses diverses tranches d'intensité à un pas de temps court. Le développement du traitement de la pluviographie (dépouillement, critères de qualité et de précision...) et l'obtention de fichiers de RPI (relevés pluviographiques intégraux) ont permis des études fines sur les tranches à fortes intensités, la position du maximum d'intensité à l'intérieur de l'averse, le découpage des pluies en tranches élémentaires, les formes de hyétogrammes, les relations intensité-durée-fréquence. Des approfondissements ont été apportés à l'occasion des études sur le ruissellement urbain (Le barbe). Des études ont commencé au niveau de la répartition des pluies horaires et de la variation diurne des précipitations.

De nombreux développements peuvent être attendus si les fichiers de RPI peuvent être alimentés, mais on ne dispose encore que de fort peu de stations pluviographiques de longue durée dépouillées (comme c'est le cas pour Ouagadougou ou Niamey...).

Au niveau des études d'averses des résultats intéressants ont été obtenus sur le bassin de Korhogo en Côte d'Ivoire (cf. 2.3.1.4.) grâce à un échantillon de onze années d'observations ; on a ainsi établi des relations entre le corps de l'averse et la hauteur moyenne de l'averse ou entre la hauteur de l'averse et sa durée, de même que sur les hyétogrammes classés aboutissant au hyétogramme décennal.

Toutefois la prise en compte de la nature des précipitations (lignes de grains, orage, pluie de mousson) n'a jamais dépassé le stade descriptif où l'on donne le hyétogramme d'une tornade et le hyétogramme d'une pluie de mousson (Mare d'Oursi au Burkina Faso, par exemple).

La réexploitation des fichiers d'averses en sous-population lorsque cela est possible (station synoptique) apporterait un nouvel éclairage extrêmement fructueux.

2.3.1.3. Séries pluviométriques et climat

Nous regroupons ici les travaux entrepris depuis une douzaine d'années en liaison avec la sévère sécheresse affectant de nombreux pays de l'Afrique de l'Ouest et Centrale. On peut distinguer :

– Les études effectuées à l'échelle mensuelle et surtout annuelle sur les séries pluviométriques des stations de longue durée. Il existe de nombreuses publications et communications à congrès sur ce thème et fournissant un suivi descriptif de la sécheresse actuelle et des autres sécheresses historiques. Le déficit global annuel caractérise l'importance de cette sécheresse (Roche, Rodier, Sircoulon, Olivry, Chouret). Comme dit plus haut, l'effet de persistance amène à s'interroger sur les récurrences données dans certaines publications.

– Les études portant sur la distribution annuelle des hauteurs de pluie journalière. Il s'agit essentiellement des études menées par Albergel au Burkina-Faso qui montrent qu'au cours de la sécheresse actuelle, les pluies supérieures à 40 mm sont plus rares mais que les pluies journalières extrêmes semblent elles indépendantes à la fois de la pluviosité annuelle et du type de pluie. Ceci mériterait d'être confirmé par des recherches portant sur l'ensemble de la zone sahélienne.

– Les études portant sur la distribution des fortes pluies au cours de la saison pluvieuse au Sahel (BADER, SIRCOULON). Sur un échantillon de stations de longue durée allant de la Mauritanie au Tchad et comprises entre 300 et 900 mm de hauteur annuelle il n'a pas été trouvé d'évolution significative sur la période avant ou depuis la sécheresse actuelle pour ce qui concerne : la précocité ou le retard des fortes pluies, la concentration des averses au cours de la saison pluvieuse, l'intervalle de temps entre fortes pluies etc... Là aussi ce secteur devrait être développé en apportant une attention particulière aux pluies du mois d'août.
– Les études portant sur les relations entre abondance des pluies et forme des averses (forme des hyétogrammes, relations intensités-durées, position de la tranche à plus forte intensité au sein de l'averse).
Les travaux restent encore fragmentaires, limités par le peu de stations pluviographiques à longue durée dépouillées, la distinction entre les divers types de pluie devrait également être faite.

2.3.1.4. Exemples d'études détaillées

Cette rubrique a déjà été mentionnée plus haut. Les références selectionnées et qui ne sont nullement exhaustives montrent le développement qui peut être apporté à certaines études régionales. Le cas de la Monographie de la Guadeloupe est intéressant à cet égard et explique qu'il doit être retenu : la partie pluviométrique de cet ouvrage est particulièrement complète et dépasse largement ce qu'on trouve de façon standard dans ce genre de rapport (données pluviométriques à divers pas de temps, études statistiques et tracés d'isohyètes interannuelles). On y trouve en effet en plus : l'historique des réseaux, l'inventaire des appareils, la méthodologie de constitution des fichiers, l'homogénéisation des données, l'étude de la persistance à l'aide du vecteur régional, l'étude statistique des intensités d'averses (hauteurs-récurrences pour diverses durées et hauteurs-durées pour diverses récurrences). Un tel luxe de résultats ne peut toutefois être envisagé systématiquement pour des raisons logistiques évidentes.

2.3.2. Répartition spatiale des pluies

2.3.2.1. Abattement

Le problème de l'abattement (rapport de la hauteur moyenne d'une précipitation sur un bassin à la hauteur maximum ponctuelle observée) a été abordé très tôt puisque celui-ci intervient dans le calcul des crues. ROCHE en a développé les aspects théoriques au début des années 60, le même auteur et BRUNET-MORET ont plus tard établi une méthode utilisant les données pluviométriques recueillies sur bassin versant et une station de longue durée située à proximité de celui-ci ; VUILLAUME en 1974 a établi une équation généralisée permettant d'évaluer le coefficient d'abattement sur les bassins de moins de 5 000 km^2 pour des pluviosités annuelles comprises entre 250 et 3 000 mm et des précipitations journalières dont la récurrence est comprise entre 2 et 50 ans. Les aspects de l'abattement ont ensuite été repris par LE BARBÉ lors des études de ruissellement urbain à Ouagadougou.

2.3.2.2. Orographie et environnement

L'influence du relief sur les précipitations a été assez peu abordée en Afrique de l'Ouest, celui-ci étant souvent assez négligeable. Les travaux sur ce thème se concentrent ainsi sur le Mont Cameroun où il existe un réseau d'altitude installé par l'ORSTOM en 1966 et suivi depuis lors.
(Dans d'autres régions du globe, aux Antilles par exemple, l'étude de l'effet orographique et du comportement des régions au vent et sous le vent a, au contraire, un caractère primordial).

En ce qui concerne les différentes quantités de pluies recueillies à 1,5 m, 1 m, et au sol, CHEVALLIER a présenté récemment une intéressante synthèse sur les résultats obtenus sur plusieurs stations de l'Afrique de l'Ouest suivies par l'Institut et échelonnées du Golfe de Guinée jusqu'au massif de l'Aïr.

2.3.2.3. Divers (Réseaux)

Les trois références regroupées traitent de l'historique des réseaux en Afrique de l'Ouest, des problèmes de rationalisation des réseaux (il s'agit là d'un type d'étude rarement entrepris, intéressant par les problèmes qu'il soulève mais se rapportant à une province française) ; la troisième référence est plus ancienne, empruntée à un exemple d'Amérique Latine mais montre comment un réseau pluviométrique de base peut être utilisé pour étudier la variabilité des précipitations dans l'espace.

2.4. QUALITÉ DES EAUX DE PLUIE

La bibliographie jointe présente une seule référence.
Il s'agit là, à notre connaissance, de la seule publication portant sur l'analyse isotopique des eaux de pluie.

Dans le cas présent, elle concerne la variation de la composition en isotopes lourds (18_O, 2_H) en fonction de l'altitude pour les pluies tombant sur les pentes du Mont Cameroun.

La lacune de nos connaissances en ce domaine est particulièrement criante. L'utilisation des isotopes devrait permettre d'évaluer l'importance du recyclage des eaux de pluie au-dessus du continent africain mais exigerait des moyens notables pour que les résultats soient correctement interprétés.

3. BIBLIOGRAPHIE

3.1. Ouvrages de synthèse

Brunet-Moret (Y.), 1968. – Étude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale – Rapport de synthèse. *CIEH, ORSTOM, avril 1968.* *(Il existe un rapport pour les pays suivants : en 1963 : Sénégal, Mali, Haute-Volta, Niger ; en 1964 : Mauritanie ; en 1966 : Tchad ; en 1967 : Côte d'Ivoire et Dahomey).

Akmanoglu (N. O.), 1970. – Données d'Observations minimales pour la détermination des modules interannuels pluviométriques et hydrométriques en Afrique occidentale et équatoriale. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. VII, 2, 1970.

Girard (G.), Roche (M.), Sircoulon (J.) – 1973 – Étude méthodologique pour l'utilisation des données climatologiques de l'Afrique tropicale. Livre I – Livre des codes. Livre II – Livre de traitement systématique. Livre III – Livre de l'évapotranspiration et des déficits hydriques. ORSTOM, Ministère de la Coopération, CIEH, 1973.

Brunet-Moret (Y.) – Établissement d'un fichier pluviométrique opérationnel et étude des averses exceptionnelles. Application à la Côte d'Ivoire. Ministère de la Coopération, CIEH ORSTOM 1976,

Anonyme. – Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965 (Congo, Côte d'Ivoire, Dahomey, Gabon, Haute-Volta, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad, Togo). CIEH, Ministère de la Coopération, ORSTOM, Paris 1973-1981.

Anonyme. – Précipitations journalières de l'origine des stations à 1972 – Cameroun – CIEH, Ministère de la Coopération, ORSTOM, Paris, 1978.

Anonyme. – Précipitations journalières de l'origine des stations à 1977 – Îles du Cap-Vert – Ministère de la Coopération, ORSTOM, Paris 1983.

3.2. Établissement des fichiers pluviométriques

3.2.1. Contrôle, critique et correction

Herbaud (J.), 1967. – Contrôle et homogénéisation des données pluviométriques. Ministère de l'Agriculture, Direction de l'Équipement et de l'hydraulique – Stage d'interprétation hydrologique – Strasbourg, 2 au 7 octobre 1967.

Brunet-Moret (Y.), 1971. – Éléments de base pour la critique à vue des données pluviométriques – *Note technique* N° 28, ORSTOM, décembre 1971.

Brunet-Moret (Y.), 1971. – Étude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol VIII, 4, 1971.

Dubreuil (P.) Guiscafre (J.), 1976. – Étude des précipitations dans le massif forestier landais – Critique et homogénéisation des données statistiques sur 24 heures. ORSTOM Service Hydrol., Paris, juillet 1976.

Hiez (G), 1977. – L'homogénéité des données pluviométriques. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XIV, n° 2 – 1977.

Sircoulon (J.), 1978. – Constitution des fichiers pluviométriques. 6e colloque Informatique et Biosphère, Paris, 16 mars 1978.

Brunet-Moret (Y), 1979. – Homogénéisation des précipitations. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XVI, n° 3/4, 1979.

Brunet-Moret (Y.), 1980. – Retour sur l'homogénéisation des pluies annuelles par vecteur régional – Numéro spécial « Précipitations et hydrologie ». La Météorologie – VIe série, n° 20-21, mars et juin 1980.

Guiscafre (J.), 1980. – Réflexion sur la précision d'un pluviographe. Numéro spécial « Précipitations et hydrologie ». La Météorologie – VIe série, n° 20-21, mars et juin 1980.

Guiscafre (J.), 1981.– Conception du nouveau fichier pluviographique de l'ORSTOM – Actes du 9e colloque « Informatique et Biosphère ». Paris 1981.

Ben Abdelfadel (A.), 1983. – Comparaison des méthodes d'homogénéisation des données pluviométriques annuelles. (Application à la République Centrafricaine). Mémoire de DEA, Paris XI, ORSTOM, septembre 1983.

Hiez (G.) et al., 1985. – Le vecteur régional et les fluctuations climatiques. Séminaire climat et développement 15-16 octobre 1985, ORSTOM-Bondy.

L'Hôte (Y.), 1985. – Contrôle de la qualité et de l'homogénéité des données pluviométriques par la méthode du vecteur des indices annuels de précipitation. Atelier international sur la correction des mesures de précipitation. Zürich 1-3 avril 1985.

Hiez (G.), 1986. – Bases théoriques du « Vecteur Régional ». Les premières applications et leur mise en œuvre informatique. *In* 2e journées hydrologiques de Montpellier 16-17 septembre 1986. Collection ORSTOM *Colloques et séminaires.*

L'Hôte (Y.), 1986. – Essai de construction d'un historique des stations pluviométriques. Critique initiale des données de

pluviométrie journalière. *In* 2e journées hydrologiques de Montpellier 16-17 septembre 1986. Collection ORSTOM *Colloques et séminaires.*

L'Hôte (Y.), 1986. – Contrôle de la qualité et de l'homogénéité des données pluviométriques par la méthode du « Vecteur des indices annuels de précipitation ».
In 2e journées hydrologiques de Montpellier 16-17 septembre 1986, Collection ORSTOM *Colloques et séminaires.*

3.2.2. Traitement des données pluviométriques

Roche (M.), 1968. – Traitement automatique des données hydrométriques et des données pluviométriques au service hydrologique de l'ORSTOM. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. V, 3, 1968.

Sircoulon(J.), Cruette (J.), 1968. – Le calcul des pluies moyennes, mensuelles et annuelles sur bassin versant avec méthode de substitution des pluviomètres pour les observations manquantes en traitement automatique. *Cah. ORSTOM, Série Hydrol.*, Vol V, 4, 1968.

Brunet-Moret (Y.), 1969. – Analyse fréquentielle de totaux pluviométriques glissants pris sur des périodes variables. – (Programme POH 109). ORSTOM, Serv. Hydrol., Paris, 1969, – Note interne –

Roche (M.), 1970. – Collecte, stockage et traitement systématique des informations en hydrologie de surface et en pluviométrie. *In* XIe journées de l'Hydraulique, Société Hydrotechnique de France, Paris.

Touchebeuf de Lussigny (P.), 1970, – Application du calcul automatique à l'étude de la répartition des pluies journalières sur un bassin représentatif. Publication n° 96, AISH, Wellington, pp. 692, 699.

Touchebeuf de Lussigny (P.), 1970. – Calcul automatique de l'abattement des pluies journalières. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. VII, 1, 1970.

Girard (G.), 1971. – Résultats des données pluviométriques et pluviographiques en vue de leur exploitation dans les bassins représentatifs et expérimentaux.
ORSTOM, Service Hydrologique, *note technique* N° 24.

Dubreuil (P.), L'Hôte (Y.), 1971. – Utilisation d'un lecteur de courbes pour le dépouillement automatique des limnigrammes et des pluviogrammes. *Cah. ORSTOM, Série Hydrol.*, vol. VIII, 3, 1971.

Girard (G.), Chaperon (P.), 1971. – Traitement automatique de l'information pluviographique. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. VIII, 3, 1971.

Brunet-Moret (Y.), Sircoulon (J.), 1972. – Description et mode d'emploi des cartes pluviométriques usuelles de réseau (série COH 100). ORSTOM, Serv. Hydrol., *note technique* N° 30, Paris, juin 1972.

Dosseur (H.), 1975. – Mode opératoire pour la création et la gestion d'un fichier pluviométrique sur bande magnétique du type « image-carte ». ORSTOM, Serv. Hydrol., Paris, septembre 1975.

3.3. Caractéristiques spatio-temporelles des pluies

3.3.1. Répartition temporelle des pluies

3.3.1.1. Statistiques appliquées aux pluies

Roche (M.), 1961. – Répartition statistique des averses tropicales non cycloniques. ORSTOM, EDF, Paris, février 1961.

Brunet-Moret (Y.), 1970. – Utilisation de la loi de Pearson III (pour des échantillons de taille connue et ayant $3{,}2 < \gamma < 110$. *Note technique* N° 1, 2e édition, ORSTOM, serv. Hydrol. Paris, octobre 1970.

Brunet-Moret (Y.), 1970. – Utilisation de la loi de Pearson III (pour des échantillons de taille inconnue et ayant $0{,}2 < \gamma < 1{,}1$. *Note technique* N° 2, 2e édition, ORSTOM, Service Hydrol., Paris, novembre 1970.

Brunet-Moret (Y.), 1974. – Distribution exponentielle généralisée. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XI, N° 4, 1974.

Brunet-Moret (Y.), 1975. – Distribution gausso logarithmique. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XII, n° 2, 1975.

Bouvier (Ch.), 1983. – Étude des effets de dépendance dans une série chronologique – Application à l'étude des séquences de jours de pluie. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XX, n° 2, 1983, pp. 79 à 116.

Ribstein (P.), 1983. – Loi des fuites. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XX, n° 2, 1983, pp. 117 à 145.

3.3.1.2. Structure des précipitations

Brunet-Moret (Y.), 1965. – Influence du corps de l'averse sur le ruissellement d'un petit bassin (bassin du petit Boundjouk, Cameroun). *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, n° 3, 1965.

Guiscafre (J.), Moniod (F.), 1975. – Intensité des averses et formes des crues dans une petite région homogène. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XII, n° 1, 1975.

Brunet-Moret (Y.), 1975. – Cartographie des précipitations et détermination de l'averse de projet en Afrique occidentale. Symposium sur « l'hydrologie des crues », Nairobi, octobre 1975.

Moniod (F.), 1977. – Les précipitations en un et plusieurs jours dans le massif forestier landais (France). *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XIV, n° 2., 1977.

Guiscafre (J.), 1980. – Hauteurs-Durées-Récurrences à la Martinique, Numéro spécial « Précipitations et hydrologie » – La Météorologie – VIe série, n° 20-21, mars et juin 1980.

LE BARBE (L.), 1982. – Étude du ruissellement urbain à Ouagadougou. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XIX, n° 3, 1982. (voir analyse des données pluviographiques pp. 147 à 166 et étude de l'abattement pp. 167 à 170.)

ROSSIGNOL (D.), 1984. – Variation diurne des précipitations en Guadeloupe, ORSTOM, Pointe à Pitre, mai 1984.

MOALLÉMI (A.), 1985. – Analyses des données pluviographiques de Niamey (Niger). Mémoire de DEA, Paris XI, ORSTOM, sept. 1985.

BOUCHAALA (A.), 1985. – Étude sur les répartitions des pluies horaires aux Antilles. Mémoire de DEA, Paris XI, ORSTOM, sept. 1985.

3.3.1.3. Séries pluviométriques et climat

BRUNET-MORET (Y.), ROCHE (M.), 1975. – Persistance dans les suites chronologiques de précipitations annuelles. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XII, n° 3, 1975.

SIRCOULON (J.), 1976. – Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique Intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 ». *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XIII, n° 2, 1976.

OLIVRY (J.C.), 1983. – Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégambie et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XX, n° 1, 1983.

ALBERGEL(J.), CARBONNEL (J.P.), GROUZIS (D.), 1984. – Péjoration climatique au Burkina Faso. Incidences sur les ressources en eau et les productions végétales. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XXI, n° 1, 1984-1985.

BADER (J.C.), SIRCOULON (J.), 1984. – Étude relative à l'évaluation du changement possible de la distribution des pluies intenses sur la saison pluvieuse au Sahel. *In* rapport OMM, UNSO, Paris juin 1984. (également mémoire de DEA, Paris XI, juillet 1984 par BADER (J.C.)).

AMRI (M.), 1985. – Influence de la sécheresse sur la forme des pluies. Mémoire de DEA, Paris XI, ORSTOM, sept. 1985.

CHOURET (A.), BERTHAULT (C.), PEPIN (Y.), 1986. – Persistance de la sécheresse au Sahel. Étude de stations pluviométriques et hydrologiques de longue durée au Mali plus observations de l'année 1985. Direction de l'Hydraulique et de l'Énergie, ORSTOM, Bamako, mai 1986.

ALBERGEL(J.), 1986. – Évolution de la pluviométrie en Afrique soudano-sahélienne. Exemple du Burkina Faso. *In* colloque CIEH, sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse. Ouagadougou, 21 au 25 mai 1986.

MOLINIER (M.), CADIER (E.), 1986. – Les sécheresses du Nordeste brésilien. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XXI, n° 4, 1984-1985.

SIRCOULON (J.), 1986. – Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'ouest et centrale. Considérations sur les stations pluviométriques de longue durée et les débits des rivières. *In* colloque CIEH, Ouagadougou, mai 1986.

SIRCOULON (J.), 1986. – La sécheresse en Afrique de l'Ouest. Comparaison des années 1982-1984 avec les années 1972-1973. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XXI, n° 4, 1984-1985.

3.3.1.4. Exemples d'études détaillées

CAMUS (H.), CHAPERON (P.), GIRARD (G.), MOLINIER (M.), 1976. – Modélisation de l'écoulement superficiel. Influence de la mise en culture. Côte d'Ivoire, Korhogo, 1962 à 1972. *Travaux et documents de l'ORSTOM* n° 52. (voir en particulier les pages 8 à 21).

GUISCAFRE (J.), KLEIN (J.C.), MONIOD (F.), 1976. – Les ressources en eau de surface de la Martinique. *Monographie Hydrologique ORSTOM*, n° 4, 1976. (voir en particulier les pages 23 à 40 et 65 à 94).

CHAPERON (P.), L'HÔTE (Y.), VUILLAUME (G.), 1985. – Les ressources en eau de surface de la Guadeloupe. *In Monographie hydrologique ORSTOM*, N° 7, 1985. (voir en particulier les pages 67 à 208).

CHEVALLIER (P.), CLAUDE (J.), POUYAUD (B.), BERNARD (A.), 1985. – Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi (1976 à 1981). In *Travaux et documents de l'ORSTOM*, n° 190. (voir en particulier les pages 30 à 59).

OLIVRY (J.C.), 1986. – Régimes hydrologiques des fleuves et rivières du Cameroun. *In Monographies hydrologiques ORSTOM*, n° 9, 1986.

3.3.2. Répartition spatiale des pluies

3.3.2.1. Abattement

BRUNET-MORET (Y.), 1960. – Méthode d'analyse de la répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace. *In* publication n° 53, AISH, Colloque d'Helsinki pp. 268-277.

ROCHE (M.), 1961. – Contribution au problème de l'abattement des pluies journalières. ORSTOM, EDF, Paris, février 1961.

ROCHE (M.), 1963. – Point de vue sur le problème de l'abattement des pluies. *In* publication n° 65, AISH, Assemblée Générale de Berkeley, pp. 268-278.

BRUNET-MORET (Y.), ROCHE (M.), 1966. – Étude théorique et méthodologique de l'abattement des pluies. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, n° 4, 1966.

VUILLAUME (G.), 1974. – L'abattement des précipitations journalières en Afrique intertropicale. Variabilité et précision de calcul. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.* vol XI, n° 3, 1974.

Voir aussi LE BARBE (L.), 1982.

3.3.2.2. Orographie et environnement

LEFÈVRE (R.), 1967. – Aspect de la pluviométrie dans la région du Mont Cameroun. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. IV, n° 4, 1967.

HOEPFFNER (M.), ROSSIGNOL (D.), 1986. – La sécheresse de 1983 en Guadeloupe. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XXI, n° 4, 1984-1985.

CHEVALLIER (P.), 1986. – Les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standards et les pluviomètres au sol en Afrique de l'Ouest. In *Revue hydrologie Continentale*, Vol. I, n° 2, 1986.

MORELL (M.), 1986. – Orographie et pluviométrie : le rôle du vent *In* 2e journées hydrologiques de Montpellier, 16-17 septembre 1986. Collection ORSTOM, *Colloques et séminaires.*

3.3.2.3. Divers (Réseaux)

DUBREUIL (P.), 1963. – L'emploi du réseau pluviométrique de base pour étudier la variabilité des précipitations dans l'espace. L'exemple des chutes de pluie à grande extension sur le pays de la Plata. Publication n° 65, AISH, Assemblée générale de Berkeley, pp. 292-302.

HERBAUD (J.), 1969. – Essai sur les problèmes de rationalisation de réseaux, mise en œuvre sur un réseau pluviométrique. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. VI, n° 4, 1969.

SIRCOULON (J.), 1985. – Historique des réseaux hydropluviométriques en Afrique francophone au sud du Sahara. Colloque sur les recherches françaises en météorologie et télédétection sur le continent africain. 18 au 20 juin 1985. École Polytechnique – Palaiseau –

3.4. QUALITÉ DES EAUX DE PLUIE

FONTES (J. Ch.), OLIVRY (J.C.), 1976. – Premiers résultats sur la composition isotopique des précipitations de la région du Mont Cameroun. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, vol. XIII, n° 3, 1976.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 14 novembre 1986

Compte-rendu des Journées d'Hydrologie de Strasbourg (16, 17 et 18 octobre 1986)

Crues et inondations

Dans le cadre des réunions annuelles de la Commission d'Hydrologie du Comité National de Géographie, s'est tenu les 16, 17 et 18 octobre 1986 à l'Université de Strasbourg, un colloque sur le thème général « Crues et Inondations ». La réunion était organisée par le Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques (CEREG/UA 95 du CNRS) de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, sous la responsabilité de J. HUMBERT, G. MAIRE et A.R. CLOOTS.

Plus de 80 personnes étaient présentes ; parmi eux, une majorité d'universitaires et de chercheurs issus d'horizons scientifiques variés (géographie, hydraulique, géologie, écologie...) et plusieurs personnes exerçant dans différentes administrations (agriculture, navigation, aménagement des eaux, météorologie...). Bien que l'appel hors de France ait été intentionnellement restreint, les organisateurs ont eu le plaisir d'accueillir quelques collègues étrangers venant notamment de Belgique, Italie, Mali et Suisse. Le thème choisi s'est montré ainsi très fédérateur et a souligné, notamment au travers des communications présentées et des discussions qui ont suivi, l'intérêt des approches à caractère pluridisciplinaire.

Les journées se sont déroulées en trois temps :
- Jeudi 16 octobre : communications.
- Vendredi 17 octobre : excursion dans les Vosges et la plaine d'Alsace.
- Samedi 18 octobre : problèmes relatifs à la Commission d'Hydrologie.

1. RAPPORT SUR LES COMMUNICATIONS PRÉSENTÉES

Introduites par les allocutions de MM. MERCIER (Directeur du CEREG) et ZILLIOX (Coordinateur du Groupe PIREN-Eau/Alsace), les séances de travail ont été regroupées en trois sections : genèse, méthodes d'études, impact et prévention. Dix-neuf communications ont été présentées pour l'ensemble des sections.

SECTION GENÈSE

La présidence des séances était assurée par Mme H. VIVIAN, Présidente de la Commission d'Hydrologie du Comité National de Géographie. Quatre communications furent présentées dans ce cadre.

C. LOUMAGNE (et MM. MICHEL et NORMAND du CEMAGREF, Antony) montre, à partir d'observations effectuées sur le bassin de l'Orgeval, que l'état hydrique de la réserve superficielle du sol explique très bien la fonction de rendement des pluies ; connaissant la valeur de la réserve et son gradient, les auteurs simulent de manière satisfaisante une chronique de débits. De son côté, C. COSANDEY (CNRS-LA 141, Meudon), travaillant sur le ruissellement des versants du massif du Lingas, révèle que la répartition des intensités de précipitations au cours de l'épisode importe davantage, pour expliquer la valeur résultante du ruissellement, que des facteurs tels que l'intensité moyenne ou l'intensité maximale de la pluie. Se basant sur des données relatives à l'orage du 21 mai 1986 dans le Piémont, V. ANSELMO et D. TROPEANO (CNR, Turin) examinent la genèse de la crue résultante, tout en chiffrant les sédiments transportés en fonction de leur nature et des conditions géomorphologiques des bassins. Enfin, dans un domaine

différent, les répercussions hydrologiques de la sécheresse sahélienne sont étudiées sur le Niger par J.P. BLANCK et S. LASSERRE (CEREG, Strasbourg) : décalage de la date du maximum de crue, décrue plus rapide, réduction des surfaces inondées... sont autant de modifications qui affectent ce grand système fluvial.

SECTION MÉTHODES D'ÉTUDES

Huit communications ont illustré cette section présidée par M.P. DUBREUIL, Vice-Président de la Commission Hydrologie-Pédologie de l'ORSTOM.

M. DRAY (ainsi que MM. HAMID et FERHI du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon) développe quelques résultats concernant la séparation des écoulements à l'aide du traçage isotopique, et l'apport de cette technique pour l'explication des transferts de certains éléments chimiques sur le bassin du Redon. Une étude des transports en solution et en suspension par la Moselle en période de crue est également présentée par Z. KATTAN et J.L. PROBST (Géologie, Strasbourg), avec d'abondants résultats concernant les flux de matières. La modélisation, en tant qu'outil de prévision des débits à court terme (système d'alerte) est abordée par Ch. OBLED (Mécanique, Grenoble) et J. LÉOUSSOF (DDE du Gard), avec des exemples pris en région méditerranéenne. La modélisation du système hydrologique fait l'objet d'une approche différente par J.P. VANCON (BRGM-Service Géologique régional Alsace), qui a mis au point un modèle de nappe intégrant les échanges avec le réseau de surface en période de crue. MM. ABELE, DEGARDIN (Service Navigation, Nancy) et ZUMSTEIN (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) examinent la définition statistique du risque d'inondation : diverses lois classiques sont discutées (exemples sur la Meurthe et la Moselle). L'étude des inondations suppose aussi d'avoir une bonne connaissance de leur extension spatiale : trois communications font état de cette question en utilisant des approches différentes. F. GAZELLE (CNRS-CERR, Toulouse), montre les difficultés et les contraintes liées à la délimitation des zones inondables sur l'Agout en amont de Castres. La grande inondation de juillet 1977 en Gascogne est cartographiée de son côté par R. LAMBERT (Géographie, Toulouse), mettant entre autres en lumière l'impact des extensions urbaines sur le développement de la submersion. Enfin, dans les régions difficiles d'accès, le recours à la télédétection peut se révéler très fructueux : c'est ce qu'explique J. TRAUTMANN (CEREG, Strasbourg) en analysant une étude de cas au Brésil par traitement d'images LANDSAT 3. Il convient d'ajouter aussi à cette section le travail de J.C. OLIVRY (ORSTOM, Montpellier) qui, empêché au dernier moment, n'a pu être présent au colloque : son article présente une méthode de prédétermination des principales caractéristiques des crues sur des bassins camerounais, à partir de relations empiriques obtenues entre les précipitations et les paramètres physiques de ces bassins.

SECTION IMPACT ET PRÉVENTION

Présidée par M.L. ZILLIOX, Coordinateur du Groupe PIREN-Eau/Alsace, cette section comprend sept communications.

A travers l'exemple de la rivière Népoui, J. ILTIS (ORSTOM, Nouméa) et M.J. CROZIER (Victoria University, Wellington) se sont intéressés aux modifications récentes des formes du lit fluvial survenues lors des crues cycloniques des rivières de Nouvelle-Calédonie dont le bassin versant est affecté par les extractions à ciel ouvert du minerai de nickel. R. CARBIENER, A. SCHNITZLER (Laboratoire de Botanique, Strasbourg), E. DILLMANN (CETE, Strasbourg) et E. DISTER (Auen Institut, Rastatt, R.F.A.) étudient en divers secteurs de la plaine du Rhin les conditions « autoécologiques » de la résistance des espèces ligneuses aux inondations ; ils dégagent en outre une composante « synécologique » (compétitions interspécifiques, degré de stabilité des substrats...) qui modifie les répartitions initiales. En Belgique, sur le Geer, les séries hydrologiques de 30 ans analysées par F. PETIT et G. MABILLE (Géographie, Liège) montrent un accroissement marqué de la fréquence des inondations depuis 1965, sans lien direct avec l'évolution de la pluviométrie ; les auteurs expliquent ce phénomène par l'impact d'aménagements d'ordres divers (hydraulique, agricole, urbain...) sur le temps de concentration des crues. A partir de constatations identiques et sur des exemples suisses, J.F. JATON (École Polytechnique, Lausanne) envisage la possibilité de rétention de l'eau dans de petites retenues en amont des bassins versants, avec le double souci de leur efficacité hydrologique et de leur rentabilité économique. B. HEUSCH (Consultant FAO) présente un projet d'endiguement de l'Oued Atar (République de Djibouti) comportant création de casiers d'infiltration et de casiers de colmatage destinés à réduire les divagations de l'oued en crue et à doubler la superficie irriguée de son cône de déjection. C'est un projet très différent, celui de l'aménagement de la Meurthe dans la traversée de l'agglomération nancéienne qu'expose X. ROEDERER (Service de la Navigation, Nancy) ; les objectifs très diversifiés comprennent non seulement une canalisation à grand gabarit de la rivière, mais aussi une amélioration de l'écoulement des crues, la réhabilitation paysagère des abords, le réaménagement des quartiers riverains. « Du vécu à l'administré », R. FROEHLICHER

(Sociologie, Strasbourg) tente de mieux appréhender les aspects sociaux des inondations, démarche indispensable quoique parfois négligée en préalable à la définition de schémas rationnels d'aménagement des eaux.

2. EXCURSION

Le vendredi 17 octobre fut entièrement consacré à la visite des terrains d'études du CEREG (bassins du Ringelbach et de la Fecht – Haut-Rhin) et du PIREN-Eau/Alsace (Plaine de l'Ill – secteur d'Illhauesern).

Visant notamment à une meilleure compréhension des mécanismes qui commandent le fonctionnement des bassins versants en moyenne montagne les recherches menées dans cette région s'appuient sur les données recueillies sur plusieurs bassins emboîtés dans les Vosges (0.36 à 450 km^2). Ce domaine montagneux constitue d'autre part une « entrée » au secteur d'études du PIREN, situé en plaine au nord de Colmar, où sont étudiés, entre autres, la genèse des inondations et les processus d'échanges nappes-rivières.

Après avoir remonté la vallée de Munster dont les caractéristiques physiques ont été développées par J. HUMBERT, P. PAUL et D. REUTENAUER, le groupe a visité quelques installations du bassin du Ringelbach, dont B. AMBROISE a rappelé les objectifs scientifiques généraux. Plusieurs intervenants ont alors exposé les principaux résultats obtenus dans les divers domaines d'études : caractéristiques hydrodynamiques des sols (D. VIVILLE), évapotranspiration (G. NAJJAR), précipitations, zones saturées (B. AMBROISE), crues, bilans hydrologiques (J. HUMBERT).

En début d'après-midi, divers aspects de dynamique fluviale liés aux aménagements de rivières ont été présentés par G. MAIRE, en plusieurs points du lit de la Fecht dans les environs de Turckheim : rectification des tracés, calibrage du lit, stabilisation des berges, évolutions géomorphologiques depuis travaux.

La dernière partie de l'excursion fut consacrée à la visite de quelques dispositifs de mesures du PIREN dans la plaine inondable de l'Ill au nord de Colmar. A.R. CLOOTS a présenté tout d'abord la paléodynamique fluviale du secteur, ainsi qu'une émergence de la nappe phréatique, tandis que M. ESTÈVES s'est attaché à décrire le fonctionnement du système Ill-aquifère alluvial. La journée s'est achevée sur un exposé de C. SCHENCK (INRA – Colmar) sur le problème de la pollution des eaux souterraines par les nitrates et la visite d'une parcelle expérimentale.

3. ACTES DU COLLOQUE

Ce colloque fait l'objet d'une publication éditée par le CEREG, reprenant une partie des exposés effectués sur le terrain. Le volume est disponible depuis mi-1987. Pour tout renseignement, on pourra s'adresser à : Institut de Géographie – CEREG – 3, rue de l'Argonne – 67083 Strasbourg Cedex.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 15.01.1987.